CMOS-schakelingen

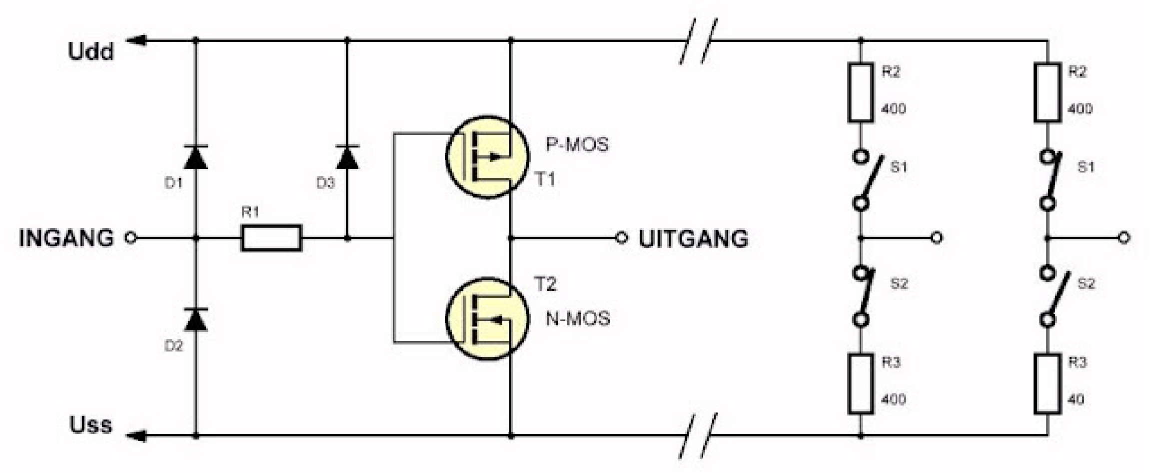
De digitale IC's van de CD4xxxB-reeks zijn ideale componenten voor het zélf ontwerpen van schakelingen. Dank zij hun voedingsspanning tot 15 V kunt u ze zonder problemen mengen met transistor- en op-amp-schakelingen en dank zij hun traagheid vertonen zij weinig kuren. Wij geven een overzicht van deze technologie met alle geproduceerde typen.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 06-02-2019

Achtergrond-informatie

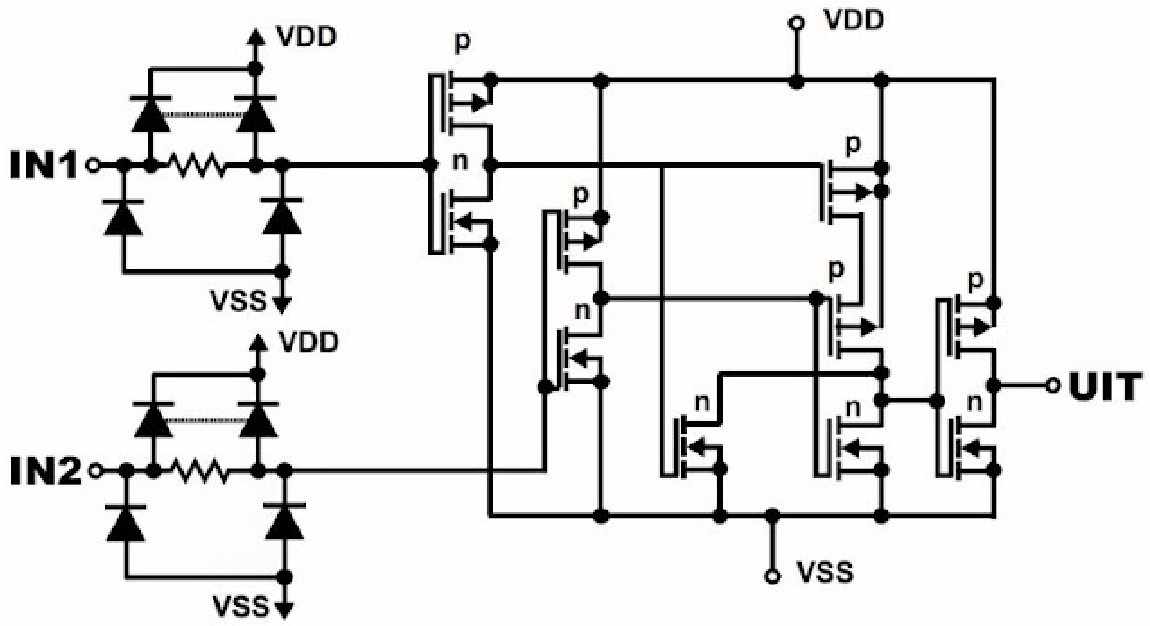
De CMOS-technologie
De eerste reeks digitale IC's die werd ontwikkeld, de beroemde 74xx TTL-serie, heeft toch wel wat nadelen. Zo moet u uit de ingangen een vrij hoge stroom opnemen om de ingang op 'L' te zetten, is de voedingsspanning beperkt tot maximaal 5,5 V, neemt de schakeling een vrij hoge voedingsstroom op en gedraagt de uitgang zich niet symmetrisch. Dat wil zeggen dat de uitgangsimpedantie van de schakeling afhankelijk is van het logische niveau dat de schakeling levert.
Het was dan ook niet verwonderlijk dat men op zoek ging naar integratie-methoden om veldeffect-transistoren in te zetten voor dezelfde logische functies die in de TTL-integratie mogelijk waren. In 1963 werd door de Amerikaanse elektrotechnicus Frank Wanlass de eerste *'**C**omplementary **M**etal **O**xide **S**emiconductor'* schakeling bij Fairchild Semiconductor ontwikkeld. Dit bedrijf verkreeg in 1967 octrooi op deze CMOS-technologie.

Complementaire paren van veldeffect-transistoren
De basis van deze technologie zijn veldeffect-transistoren (FET's) die in paren van een NMOS-FET en een PMOS-FET worden toegepast. Vandaar de naam *'Complementary Metal Oxide Semiconductor'*.
Omdat hierbij altijd slechts één van de twee soorten FET's zich in geleidende toestand bevindt en de PMOS- en NMOS-FET's steeds in serie staan tussen de voedingsspanning en de massa kan er geen stroom tussen de voedingsspanning en aarde lopen. Bovendien verbruiken de ingangen van deze schakelingen geen stroom, terwijl bij TTL-logica dit wél het geval is. Het gevolg is dat CMOS-schakelingen alleen een heel klein beetje stroom verbruiken om interne parasitaire condensatoren te laden en te ontladen als een schakeling van logisch niveau moet veranderen.
In de onderstaande figuur is links de interne samenstelling van de meest eenvoudige CMOS-schakeling, namelijk een inverter, voorgesteld. Rechts ziet u waardoor u dit schema kunt vervangen. Twee schakelaars S1 en S2 die afwisselend open en dicht gaan, afhankelijk van de binaire status van de schakeling. Staat er een logische 'H' op de ingang, ligt de ingang dus aan U_{dd} (voeding), dan spert de P-MOS en geleidt de N-MOS. De uitgangsspanning is dus gelijk aan U_{ss} (massa), logisch 'L'. Een 'L' aan de ingang veroorzaakt een omgekeerde werking: de P-MOS geleidt en de N-MOS spert, waardoor er een 'H' verschijnt op de uitgang. Duidelijk is dat op deze wijze de beide MOSFET's nooit gelijktijdig kunnen geleiden en dat de inverter zélf dus geen energie verbruikt. In beide gevallen wordt de uitgang via een serieweerstand van ongeveer 400 Ω verbonden met de massa U_{ss} of met de voedingsspanning U_{dd}. Die 400 Ω is uiteraard de geleidingsweerstand van de MOSFET's.
Aan de ingang ziet u een beveiligingsnetwerk dat de zeer hoog-ohmige ingang moet beschermen tegen statische elektriciteit. Komt er een negatieve spanningspuls op de ingang, dan gaat de diode D2 geleiden en deze spanning wordt kortgesloten naar de massa. Komt er een positieve puls op de ingang, dan gaan de dioden D1 en D3 geleiden en de ongewenste puls wordt kortgesloten naar de voedingsspanning.



Een inverter in CMOS-technologie. (© 2019 Jos Verstraten)

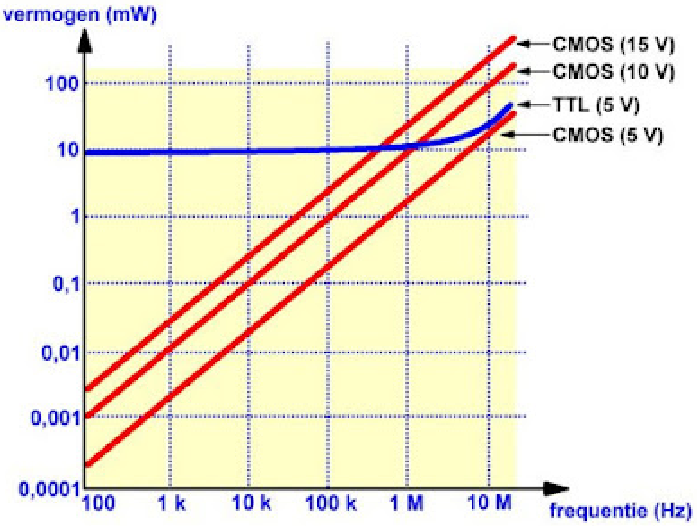
Beveiligde ingangen en complementaire uitgangen zijn standaard
De twee eenvoudige schakelingen die samen een inverter vormen en die in de vorige figuur zijn voorgesteld, vormen dé basis van alle schakelingen uit de CMOS-familie. Ter illustratie geven wij in de volgende illustratie de interne schakeling van de CD4011 NAND-poort. U herkent de beveiligingen aan de ingangen en de typische symmetrische structuur van de uitgang.



De schakeling van een NAND-poort in CMOS-technologie. (© Intersil)

Een verhoogde voedingsspanning
Een belangrijk voordeel van CMOS ten opzichte van TTL is het feit dat de schakelingen goed kunnen werken in een veel breder bereik van de voedingsspanning. Terwijl TTL absoluut een voedingsspanning van +4,5 V tot +5,5 V nodig heeft, kunt u CMOS-schakelingen voeden met een spanning tussen +3,0 V en +18,0 V. Deze spanning moet niet eens gestabiliseerd zijn, de schakelingen blijven goed werken als de voedingsspanning fors varieert. Dat maakt het werken op batterijen uiteraard een stuk eenvoudiger.

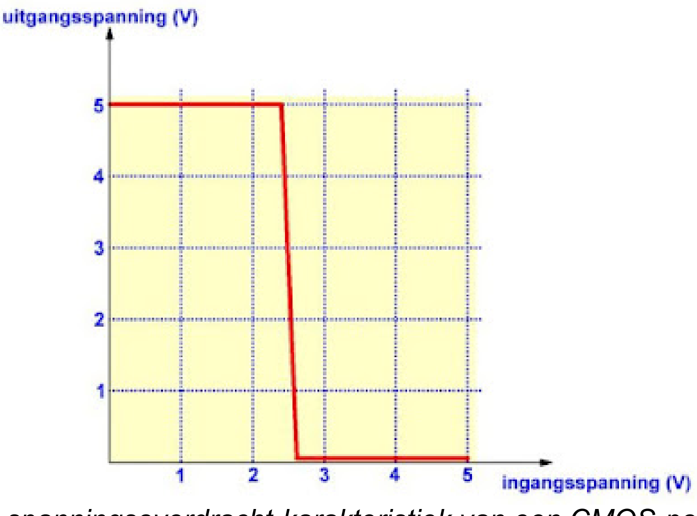
Veel minder vermogensverbruik
TTL-schakelingen zijn stroomvreters. Een standaard TTL-poort verbruikt ongeveer 10 mW. Het vermogensverbruik van CMOS-schakelingen is afhankelijk van de frequentie waarop de poort schakelt. Bij zeer lage frequenties verbruikt een standaard CMOS-poort een vermogen van slechts 10^{-3} mW bij een voedingsspanning van 10 V. Naarmate de schakelfrequentie stijgt, zal het opgenomen vermogen echter flink toenemen. Bij een frequentie van 10 MHz benadert het opgenomen vermogen dat van een standaard TTL-poort. Dat valt niet te verklaren met het schema van de eerste figuur in dit verhaal. Bedenk echter dat elektronische schakelaars nooit in een oneindig korte tijd van sper naar geleiding schakelen, maar dat zo'n onderdeel een bepaalde schakeltijd heeft. In de praktijk zal er dus een bepaalde tijd zijn waar zowel de P-MOS als de N-MOS aan het omschakelen zijn van geleiding naar sper en vice versa. Gedurende deze tijd loopt er een stroom van U_{dd} naar U_{ss} en deze stroom wekt in de complementaire trap een bepaald vermogen op. Het zal ook wel duidelijk zijn dat de invloed van deze omschakeltijd groter wordt naarmate de schakelfrequentie stijgt.



Het vermogensverbruik van een TTL-poort en een CMOS-poort vergeleken.
(© 2019 Jos Verstraten)

De logische niveaus

Ook op dit gebied is CMOS in het voordeel ten opzichte van TTL. Bij TTL hebt u erg weinig speelruimte om aan de ingang van een poort een duidelijk door de schakeling herkenbare 'L' of 'H' aan te leggen. Voor een ondubbelzinnige 'L' moet u de ingang naar een spanning kleiner dan 0,4 V sturen, voor een ondubbelzinnige 'H' moet u een spanning van meer dan +2,4 V aan een ingang aanleggen. Bij CMOS zijn de acceptabele spanningen voor beide niveaus veel ruimer, zie onderstaande spanningsoverdracht-grafiek. Bij CMOS is de helft van de voedingsspanning dus de grens tussen 'L' en 'H'.
Dit kan echter problemen geven als u TTL- en CMOS-schakelingen aan elkaar koppelt. Het voeden van CMOS uit de 5 V voeding van TTL is geen enkel probleem. Een TTL-schakeling levert echter vaak een niveau van slechts 2,5 V als 'H' op de uitgang. Deze spanning zal de ingang van een TTL-poort zonder meer als 'H' herkennen, maar voor een CMOS-poort kan dat problematisch zijn. Soms zal een dergelijk signaal als 'H' worden herkend, maar een andere poort met iets andere toleranties kan deze spanning nog nét als 'L' interpreteren.
Tussen TTL en CMOS moet u dus niveau-aanpassers opnemen, zoek naar *'Level-shifters'* in de onderstaande tabellen.



De spanningsoverdracht-karakteristiek van een CMOS-poort.
(© 2019 Jos Verstraten)

De snelheid

Een nadeel van CMOS is de lage snelheid in vergelijking met TTL. De ingangscapaciteiten van een CMOS-poort zijn veel groter dan die van een vergelijkbare TTL-poort. Een CMOS-poort zal dus langzamer reageren op een signaalovergang (van laag-naar-hoog of vice versa) dan een TTL-poort. De RC-tijdconstante, gevormd door het beveiligingscircuit aan de ingang en de parasitaire capaciteiten in de chip, heeft de neiging om de snelle stijg- en daaltijden van een puls aan de ingang te vertragen. Daardoor zal een CMOS-schakeling een grotere signaalvertraging introduceren dan een TTL-soortgenoot. Het gevolg is ook dat de maximale frequentie die u aan een CMOS-schakeling kunt aanleggen eerder aan de lage kant is.
Voor een heleboel hobby-schakelingen levert deze lage snelheid echter eerder een voor- dan een nadeel op. CMOS-schakelingen zullen veel minder snel last hebben van allerlei parasitaire koppelingen

tussen printsporen en stoorpieken die in een uitgebreide schakeling kunnen ontstaan. Het ontwerpen van een print met CMOS is dan ook veel minder kritisch dan het ontwerpen van een print waar een heleboel TTL-IC's op zitten.

Ongebruikte ingangen
Het is absoluut noodzakelijk dat u ongebruikte ingangen van CMOS-schakelingen aan de voeding of aan de massa legt. Vanwege de zeer hoge ingangsweerstand van een CMOS-poort kan een open ingang allerlei stoorsignalen oppikken en een ongedefinieerd logische niveau aan zijn schakeling gaan aanbieden.

Technische specificaties van CMOS-schakelingen

- **Aanbevolen voedingsspanning U_{dd}:** +3,0 V ~ +15,0 V
- **Maximale ingangsspanning:** U_{dd} +0,5 V
- **Maximale ingangsstroom bij 'H':** -0,3 µA
- **Maximale ingangsstroom bij 'L':** 0,3 µA
- **Ingangscapaciteit:** 1 pF ~ 2 pF
- **Gemiddeld vertragingstijd poort:** 15 ns
- **Gemiddelde stijgtijd aan de uitgang:** 20 ns
- **Gemiddelde transitietijd:** 100 ns
- **Typische klokfrequentie van een flip-flop:** 14 MHz bij +5,0 V voeding
- **Typische klokfrequentie van een flip-flop:** 40 MHz bij +15,0 V voeding
- **Wisselspanningsversterking:** 68 dB
- **Analoge bandbreedte:** 280 kHz
- **Uitgangsimpedantie:** 400 Ω
- **Maximale uitgangsstroom bij 'H':** 3 mA
- **Maximale uitgangsstroom bij 'L':** 3 mA

Leverbare CMOS-schakelingen

Inleiding
In de gloriedagen van de losse TTL- en CMOS-schakelingen hebben vrijwel alle IC-fabrikanten een uitgebreide reeks CMOS-schakelingen ontwikkeld en op de markt gebracht. Beroemd was de CD4xxxBE reeks van RCA en ook Philips deed een behoorlijke duit in het zakje met zijn HEF-4xxx reeks. Voor vrijwel alle functies die in TTL beschikbaar waren, werden CMOS-alternatieven op de markt gebracht. Inmiddels zijn een heleboel van die schakelingen *'obsolete'* verklaard, hetgeen betekent dat zij niet meer worden geproduceerd en alleen nog leverbaar zijn uit grote voorraden die her en der op de wereld nog aanwezig zijn. Sommige van deze uitgestorvenen kunt u niet eens meer op Google terug vinden! Gelukkig zijn de eenvoudigere functies, zoals poorten, flip-flop's, tellers, decoders en PLL's nog wél bij alle goede elektronica postorderbedrijven uit voorraad leverbaar.

Een vrijwel volledige lijst
In onderstaand overzicht hebben wij de moeite genomen om alle CMOS-schakelingen waarvan ons bekend is dat zij ooit zijn geproduceerd in te delen naar hun functie. Kwestie van een aantal oeroude databoeken te doorzoeken! Dat is veel handiger dan een numerieke lijst, want daar hebt u niet erg veel aan. In de praktijk zoekt u immers bijvoorbeeld naar een tienteller met zeven-segment sturing. Scroll dan naar de tabel *'Tellers met gedecodeerde uitgangen'* en u vindt daar de 4026 en de 4033. Open nu Google en zoek naar CD4026. Google is tegenwoordig zo slim dat automatisch een lijstje met gesponsorde verwijzingen naar postorderbedrijven boven of rechts van de zoekresultaten verschijnt. Is dat niet het geval, dan vindt u op de eerste pagina met zoekresultaten vaak al rechtstreekse links naar bekende leveranciers zoals Mouser, Conrad, Reichelt, Digichip, RC-Components en Okaphone. Gemakkelijker kunnen wij het u niet maken!

AND-poorten

4073	3 x 3 in
4081	4 x 2 in
4082	2 x 4 in

OR-poorten

4071	4 x 2 in

4072	2 x 2 in
4075	3 x 3 in
4570	4 x 2 in

NAND-poorten

4011	4 x 2 in
4012	2 x 4 in
4023	3 x 3 in
4068	1 x 8 in
40107	2 x 2 in, buffer/driver, open drain

NOR-poorten

4000	2 x 3 in + inverter
4001	4 x 2 in
4002	2 x 4 in
4025	3 x 3 in
4078	1 x 8 in

EXOR/EXNOR poorten

4030	4 x 2 in EXOR
4070	4 x 2 in EXOR
4077	4 x 2 in EXNOR
4507	4 x 2 in EXOR
4519	4 x 2 in EXNOR, 4 x 2 naar 1 multiplexer

Schmitt-trigger poorten

4093	4 x 2 in NAND
4106	6 x inverter
4583	2 x Schmitt-trigger met instelbare triggerniveaus
4584	6 x inverter
40106	6 x inverter

Complexe poorten

4019	4 x 2 AND-OR-SELECT
4037	3 x AND/OR bi-fase paren
4048	multi-functionele poort, 8 in, tri-state uit
4085	2 x 'two-wide' AND-OR-INVERT
4086	'four-wide' AND-OR-INVERT
4501	drievoudige multi-functionele poort
4506	2 x 'two-wide' AND-OR-INVERT, tri-state uit
4519	drievoudige multi-functionele poort
4530	2 x 5 in meerderheidspoort

4572	zesvoudige poort

Level-shifters

4009	6 x inverterende CMOS-TTL converter
4010	6 x bufferende CMOS-TTL converter
4049	6 x inverterende CMOS-TTL converter
4050	6 x bufferende CMOS-TTL converter
4104	4 x laag- naar hoogspanning shifter, tri-state
4504	6 x TTL-CMOS/CMOS-TTL level shifter
40107	2 x NAND/level-shifter (op/neer)
40109	4 x H-L/L-H level-shifter
40115	8 bit bidirectionele CMOS/TTL level-shifter
40116	8 bit bidirectionele CMOS/TTL level-shifter

Inverters, buffers en line-drivers

4007	2 x complementair paar + inverter
4009	6 x inverterende buffer
4010	6 x buffer
4041	4 x true/complement buffer
4049	6 x inverterende buffer
4050	6 x buffer
4069	6 x inverter
4502	6 x inverterende buffer
4503	zesvoudige tri-state buffer
40107	2 x 2 NAND-buffer, open-drain

Transceivers

4503	6 buffers/bus-drivers met 3-state uitgangen
40097	6 buffers/bus-drivers met 3-state uitgangen
40098	6 buffers/bus-drivers met inverterende 3-state uitgangen
40240	8 buffers/lijndrivers met inverterende 3-state uitgangen
40244	8 buffers/bus-drivers met 3-state uitgangen
40245	8 bus-transceivers met 3-state uitgangen

Type D flip-flop's

4013	2 x D-FF, set en reset
4076	4 x D-FF, 3-state
40174	6 x D-FF, clear
40175	4 x D-FF, clear en complementaire uitgangen
40374	8 x D-FF, 3-state

Type J-K flip-flop's

4027	2 x J-K master-slave, set en reset
4095	J-K master-slave met AND-ingangen
4096	J-K master-slave met AND-ingangen

Latches

4042	4 x D-type latches, clock met instelbare polariteit
4043	4 x NOR R-S latch
4044	4 x NAND R-S latch
4099	8 bit adresseerbare latch
4597	8 bit bus-compatibele teller met latches
4598	8 bit bus-compatibele adresseerbare latch
4599	8 bit adresseerbare latch
4724	8 bit adresseerbare latch

Latches met tri-state uitgangen

4043	4 x R/S-latches, 3-state
4044	4 x R/S-latches, 3-state
4508	2 x 4 bit latches, 3-state
40373	8 x D-type latches, 3-state

Binaire tellers

4020	14 bit binaire teller
4024	7 traps binaire teller
4040	12 traps binaire teller
4045	21 traps binaire teller met oscillator
4060	14 traps binaire teller met oscillator
4161	presetbare binaire teller
4163	presetbare binaire teller
4516	presetbare binaire op/neer-teller
4520	2 binaire tellers
4521	24 traps frequentie-deler
40103	8 traps presetbare synchrone neer-teller
40161	presetbare binaire teller
40163	presetbare binaire teller
40193	presetbare 4 bit op/neer-teller

BCD-tellers

4510	presetbare BCD op/neer-teller
4518	2 x 10-tellers
4534	'real-time' 5-decaden teller
4553	drie digit BCD-teller

4737	viervoudige statische decaden teller
40160	presetbare 10-teller met asynchrone clear
40162	presetbare 10-teller met synchrone clear
41160	presetbare 10-teller met asynchrone clear
41162	presetbare 10-teller met synchrone clear
40192	presetbare op/neer 10-teller

Tellers volgens afwijkende code of met omschakelbare code

4018	presetbare n-teller
4029	4 bit presetbare op/neer-teller, binair of decimaal
4059	programmeerbare n-teller
4522	programmeerbare deel-door-n BCD neer-teller
4526	programmeerbare deel-door-n binaire teller
4566	industriële tijdbasis generator
4569	2 x programmeerbare deel-door-n binaire/BCD neer-tellers
40102	8 traps presetbare decimale neer-teller

Tellers met gedecodeerde uitgangen

4017	5 traps Johnson-teller
4022	4 traps Johnson-teller
4026	10-teller/deler met 7-segment decoder/driver
4033	10-teller/deler met 7-segment decoder/driver
4536	programmeerbare timer, 24 traps binaire teller, one-shot uitgang (timer)
4553	3-cijferige BCD-teller met oscillator, latches en multiplexer

Schuifregisters

4006	18 traps, instelbaar
4014	8 bit, synchroon parallel-in, serie-in/uit
4015	2 x 4 bit, serie-in/parallel-uit, reset
4021	8 bit, asynchroon parallel-in, synchroon serie-in/serie-uit
4031	64 traps serie-in/serie-uit
4034	8 bit universeel busregister
4035	4 bit parallel-in/uit, true/complement ingang en clear
4062	200 traps dynamisch, 1- of 2-fase clock
4094	8 traps schuif-/opslagregister serie-in/parallel-uit, tri-state
4194	4 bit bidirectioneel, serie-in/-uit, parallel-in/-uit, hold, reset
4517	2 x 64 bit, aftakkingen per 16 bit
4557	1 tot 64 bit (variabel), serie-in/-uit
4562	128 bit, aftakkingen per 16 bit
4580	4 x 4 Multiport register
4731	4 x 64 bit, serie-in/-uit

40100	32 traps, LIFO, FIFO, recirculeren
40105	16 x 4 bit FIFO met tri-state uitgangen
40194	4 bit bidirectioneel, serie-in/-uit, parallel-in/-uit, hold, reset
40195	4 bit parallel-in/-uit, clear
41195	4 bit parallel-in/-uit, clear

Code-omzetters

4028	BCD-naar-decimaal en binair-naar-octaal omzetter
4419	2 bij 8 toetsenbord matrix naar binair

Data selectors, decoders, digitale multiplexers

4019	4 x 2-naar-1 data selector/multiplexer
4512	achtkanaals data selector/multiplexer met tri-state uitgangen
4514	4-naar-16 decoder, 4 bit latch, actief hoge uitgangen
4515	4-naar-16 decoder, 4 bit latch, actief lage uitgangen
4519	4 x 2-naar-1 data selector/multiplexer of 4 bit AND/OR selector
4532	8-naar-3 priority encoder
4539	2 x 4-naar-1 data selector/multiplexer
4555	2 x binair naar 1-uit-4 decoder/demultiplexer, actief hoge uitgangen
4556	2 x binair naar 1-uit-4 decoder/demultiplexer, actief lage uitgangen
40147	10-naar-4 BCD priority encoder
40257	4 x 2-naar-1 data selector/multiplexer met tri-state uitgangen

BCD-naar-7-segment decoders, display-drivers

4054	4-segment display driver (level shifter)
4055	BCD-naar-7-segment decoder/driver
4056	BCD-naar-7-segment latch/decoder/driver
4493	binair-naar-7-segment latch/decoder/driver
4494	binair-naar-7-segment latch/decoder/driver
4495	hexadecimaal-naar-7-segment latch/decoder/driver, actief hoge uitgangen
4499	4 digit 7-segment LED-display decoder/driver (actief HOOG) met seriële interface
4511	BCD-naar-7-segment latch/decoder/driver (actief HOOG)
4513	BCD-naar-7-segment latch/decoder/driver (actief HOOG)
4543	BCD-naar-7-segment latch/decoder en driver
4544	BCD-naar-7-segment latch/decoder/driver (actief HOOG) voor LCD's
4547	high current BCD-naar-7-segment latch/decoder/driver (actief HOOG)
4558	BCD-naar-7-segment decoder (actief HOOG)
4754	18 segment LCD-driver voor thermometer schalen
40110	op/neer-teller met latch/decoder/driver voor 7-segment
44100	32 segment duplex mode LED-driver

44115	16 segment LCD-driver
44117	4 digit duplex mode LCD-driver met decoder
45000	gemultiplexte 48 segment LCD-driver met seriële ingang (master)
45001	gemultiplexte 44 segment LCD-driver met seriële ingang (slave)
45453	LCD-driver met seriële interface

Full adders/subtractors

4008	4 bit full adder met snelle carry
4032	drievoudige seriële adder voor positieve logica
4038	drievoudige seriële adder voor negatieve logica
4560	NBCD-adder (subtractor bij gebruik van 4561)
4561	9's complementer
4582	carry block voor full adders
40182	look ahead carry generator

Magnitude comparatoren/pariteits checkers

4063	4 bit magnitude comparator
4531	12 bit pariteits checker
4585	4 bit magnitude comparator
40101	9 bit pariteits checker

Binaire multipliers

4089	binaire rate multiplier
4527	BCD rate multiplier
4554	2 bit x 2 bit binaire multiplier

Arithmetic Logic Unit's (ALU's)

4581	4 bit ALU
40181	4 bit ALU

Geheugens

4426	8 x 14 bit statisch RAM voor tuners
4505	64 x 1 bit statisch RAM
4524	256 x 4 bit ROM
4537	256 x 1 bit statisch RAM
4552	64 x 4 bit statisch RAM
4580	4 x 4 Multiport register
4720	256 x 1 bit RAM
40108	4 x 4 Multiport register
40208	4 x 4 Multiport register
44102	16 x 16 bit statisch RAM

Successive approximation registers

4549	8 bit SAR met MR-ingang, uitbreidbaar
4559	8 bit SAR met FF-ingang voor verkorte cyclus

ADC en DAC

4433	3,5 digit ADC
4442	microprocessor-compatibele ADC
4443	zeskanaals ADC subsysteem
4444	microprocessor-compatibele ADC
4447	zeskanaals ADC subsysteem
44110	zesvoudige DAC
44111	viervoudige DAC
45040	seriële ADC
45041	seriële ADC

Operationele versterkers en comparatoren

4573	viervoudige programmeerbare operationele versterker
4574	viervoudige programmeerbare comparator
4575	tweevoudige operationele versterker of comparator

Analoge multiplexers

4016	4 x analoge omschakelaar
4051	achtkanaals analoge schakelaar
4052	2 x vierkanaals analoge schakelaar
4053	3 x tweekanaals analoge schakelaar
4066	4 x analoge omschakelaar
4067	zestienkanaals analoge schakelaar
4097	differenti‰le achtkanaals analoge schakelaar
4529	2 x 4-naar-1 analoge schakelaar met tri-state uitgangen
4551	4 x tweekanaals analoge schakelaar
4741	matrixschakelaar, van 4 horizontale lijnen naar 4 verticale lijnen met geheugen

Timers en oscillatoren

4045	21 traps binaire teller met oscillator
4060	14 traps binaire teller met oscillator
4415	viervoudige timer met driver
4536	programmeerbare timer, 24 traps binaire teller, one-shot uitgang
4541	programmeerbare oscillator/timer
4566	industriële tijdbasis met timer
4722	binaire, programmeerbare timer/counter
4753	universele timer

Astabiele en monostabiele multivibratoren

4047	monostabiele/astabiele multivibrator
4098	dubbele monostabiele multivibrator
4528	dubbele monostabiele multivibrator
4538	dubbele precisie-monostabiele multivibrator, hertriggerbaar, met clear
4548	dubbele monostabiele multivibrator, hertriggerbaar, met clear

Phase locked loop's (PLL) en frequentie-synthesizers

4046	PLL
4568	fase comparator met programmeerbare teller
4750	frequentie-synthesizer
4751	universele deler voor PLL's
45104	PLL en frequentie-synthesizer
45106	PLL en frequentie-synthesizer
45107	PLL en frequentie-synthesizer
45109	PLL en frequentie-synthesizer
45112	PLL en frequentie-synthesizer
45143	PLL en frequentie-synthesizer
45144	4 bit data-bus voor PLL en frequentie-synthesizers
45145	4 bit data-bus voor PLL en frequentie-synthesizers
45146	4 bit data-bus voor PLL en frequentie-synthesizers
45151	PLL en frequentie-synthesizer met parallelle ingangen
45152	PLL en frequentie-synthesizer met parallelle ingangen
45155	PLL en frequentie-synthesizer met seriële ingangen
45156	PLL en frequentie-synthesizer met seriële ingangen
45157	PLL en frequentie-synthesizer met seriële ingangen
45158	PLL en frequentie-synthesizer met seriële ingangen
45159	PLL en frequentie-synthesizer met seriële ingangen